

520,218

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
15. Januar 2004 (15.01.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/006382 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H01P 1/04, 11/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/002087

(22) Internationales Anmeldedatum:  
24. Juni 2003 (24.06.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 29 578.6 2. Juli 2002 (02.07.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02  
20, 70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BREITSCHWERDT,  
Klaus [DE/DE]; Wilhelm-Hauff-Str. 15, 70794 Filderstadt  
(DE). ULM, Markus [DE/DE]; Friedrichstrasse 27, 74372  
Sersheim (DE). URBAN, Andrea [DE/DE]; Othellostrasse  
15, 70563 Stuttgart (DE). REIMANN, Mathias [DE/DE];  
Eisestrasse 23, 70567 Stuttgart (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, KR, US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

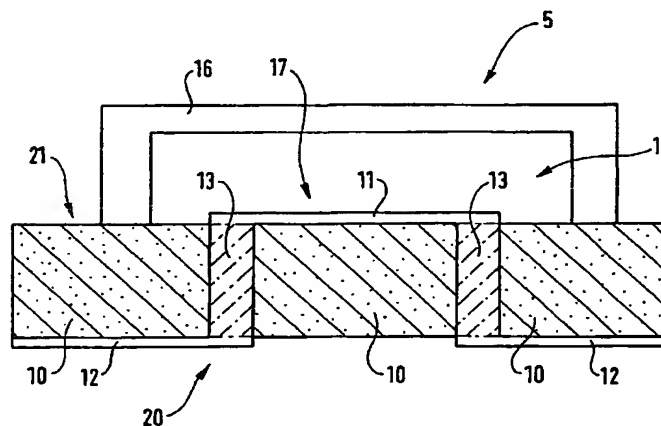
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ELECTRICAL SYSTEM, ESPECIALLY A MICROELECTRONIC OR MICROELECTROMECHANICAL HIGH  
FREQUENCY SYSTEM

(54) Bezeichnung: ELEKTRISCHES BAUELEMENT, INSBESONDERE MIKROELEKTRONISCHES ODER MIKROELEK-  
TROMECHANISCHES HOCHFREQUENZBAUELEMENT.



(57) Abstract: The invention relates to an electrical system (5), especially a microelectronic or microelectromechanical high frequency system, comprising a base body (10) provided with a via (13). A first conductive structure (11) extending on an upper side (21) of the base body (10) is connected in a continuous manner, by means of said via (13) for high frequency electromagnetic waves, to a second conductive structure (12) extending on a lower side (20) of the base body (10). Said via (13) is in the form of a straight prism or cylinder, and the first and/or second conductive structure (11, 12) is embodied as a planar waveguide, especially a coplanar waveguide. The invention also relates to a method for producing an electrical system (5) comprising a via (13) for high-frequency electromagnetic waves, using a base body (10). According to the inventive method, an electroconductive layer is applied to an upper side (21) of the base body (10) and an etching mask is applied to a lower side (20) of the base body (10); a trench (14) crossing the base body and having at least approximately perpendicular lateral walls is etched into the base body (10) in a plasma etching step; following the etching and once the etching mask has been removed, an electroconductive layer is applied to the lower side (20); and the trench (14) is then filled or covered by an electroconductive material.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

BEST AVAILABLE COPY

WO 2004/006382 A1



*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

**(57) Zusammenfassung:** Es wird ein elektrisches Bauelement (5), insbesondere ein mikroelektronisches oder mikroelektromechanisches Hochfrequenzbauelement, mit einem mit einer Durchführung (13) versehenen Grundkörper (10) vorgeschlagen, wobei mittels der Durchführung (13) eine auf einer Oberseite (21) des Grundkörpers (10) verlaufende erste Leitstruktur (11) mit einer auf einer Unterseite (20) des Grundkörpers (10) verlaufenden zweiten Leitstruktur (12) für hochfrequente elektromagnetische Wellen durchgängig verbunden ist. Die Durchführung (13) weist die Form eines geraden Prismas oder Zylinders auf und die erste und/oder die zweite Leitstruktur (11, 12) ist als planarer Wellenleiter, insbesondere als koplanarer Wellenleiter ausgebildet. Daneben wird ein Verfahren zur Erzeugung eines elektrischen Bauelementes (5) mit einer Durchführung (13) für hochfrequente elektromagnetische Wellen durch einen Grundkörper (10) vorgeschlagen, wobei auf einer Oberseite (21) des Grundkörpers (10) eine elektrisch leitfähige Schicht und auf einer Unterseite (20) des Grundkörpers (10) eine Ätzmaskierung aufgebracht wird, danach in den Grundkörper (10) in einem Plasmaätzschritt ein den Grundkörper durchquerender Trenchgraben (14) mit zumindest nahezu senkrechten Seitenwänden eingätzt wird, nach dem Ätzen und einem Entfernen der Ätzmaskierung auf der Unterseite (20) eine elektrisch leitfähige Schicht aufgebracht wird, und schließlich der Trenchgraben (14) mit einem elektrisch leitfähigen Material ausgefüllt oder belegt wird.

ELEKTRISCHES BAUELEMENT, INSBESONDERE MIKROELEKTRISCHES ODER  
MIKROELEKTROMECHANISCHES HOCHFREQUENZBAUELEMENT

Die Erfindung betrifft ein elektrisches Bauelement, insbesondere ein mikroelektronisches oder mikroelektromechanisches Hochfrequenzbauelement, sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung nach der Gattung der unabhängigen Ansprüche.

Stand der Technik

Aus DE 100 37 385 A1 ist ein in Mikromechanik gefertigter Hochfrequenz-Kurzschluss-schalter bekannt, der eine dünne Metallbrücke aufweist, die zwischen zwei Masseleitungen eines koplanaren Wellenleiters gespannt ist. Dieser Hochfrequenzkurzschlusschalter ist beispielsweise für ACC-Anwendungen („Adaptive Cruise Control“) oder SRR-Anwendungen („Short Range Radar“) in Kraftfahrzeugen verwendbar und wird bei Betriebsfrequenzen von typischerweise von 24 Gigahertz oder 77 Gigahertz betrieben.

Daneben sind vielfältige andere Mikrostrukturbauelement bzw. mikrosystemtechnische Baukomponenten beispielsweise für Anwendungen im Bereich der Hochfrequenztechnik auf Basis von Silizium bekannt. Diese werden auch als MEMS-Bauelemente (microelectromechanical structures/system) oder HF-MEMS-Bauelemente (high frequency microelectromechanical structures/system) bezeichnet.

In der Regel ist es bei Mikrostrukturbauelementen und insbesondere mikrostrukturierten Hochfrequenzbauelementen erforderlich, diese vor Umwelteinflüssen wie Feuchte, Luft, Schmutzpartikeln oder sonstigen äußeren Medien oder Gasen zu schützen. Dazu wird vielfach eine Verkappung eingesetzt. Um dabei die Funktion des durch die Verkappung eingeschlossenen Mikrostrukturbauelementes nicht oder nicht zu stark zu beeinträchtigen, ist es erforderlich, eine Leiterstruktur in die Verkappung hineinzuführen. Dabei stellt sich zunächst das Problem der Sicherstellung der nötigen Gasdichtigkeit bzw. Feuchtigkeitsdichtigkeit. Weiter muss bei der Durchführung der Leiterstruktur vom Außenraum der Verkappung in deren Innenraum insbesondere im Fall eines Hochfrequenzbauelementes

sichergestellt bleiben, dass die Leiterstruktur für hochfrequente elektromagnetische Wellen transparent bzw. durchgängig ist, d. h. es darf nicht zu einer nennenswerten Dämpfung oder Störung der Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen auf der Leiterstruktur kommen.

5

10

15

20

In US 6,207,903 B1 wird ein mikrostrukturiertes Siliziumsubstrat in Form einer Membran mit einer hohen elektrischen Leitfähigkeit beschrieben, das Durchführungen zwischen koplanaren Wellenleitern aufweist, die auf unterschiedlichen Seiten des Siliziumsubstrates geführt sind. Diese Durchführungen sind in Form von Kreiskegelstümpfen ausgeführt und dabei von unterschiedlichen Seiten des Substrates in dieses eingätzt und mit einem Metall gefüllt worden, so dass sich eine Hochfrequenzdurchführung zwischen den auf Oberseite und Unterseite geführten koplanaren Wellenleitern ergibt. Daneben ist dort beschrieben, dass auch pyramidenförmige Durchführungen bekannt sind, die das Substrat durchqueren. Bei dem in US 6,207,903 B1 eingesetzten Ätzverfahren zur Erzeugung der Durchführungen handelt es sich um ein nasschemisches Ätzverfahren, das die Anisotropie der Ätzgeschwindigkeit in Silizium-Einkristallen entlang verschiedener Kristallrichtungen benutzt, so dass sich als Seitenwände der pyramidenförmigen Durchführungen stets kristalline (111)-Ebenen ausbilden. Die Seitenwände sind damit nicht vertikal, sondern bilden stets einen Winkel von  $54,75^\circ$  mit der Substratebene. Dieses Verfahren wird in US 5,913,134 im Zusammenhang mit dem Aufbau von Hochfrequenzbauelementen mit koplanaren Wellenleitern im Detail weiter erläutert.

25

30

Die US 6,365,513 B1 offenbart ein elektrisches Bauelement, insbesondere ein mikroelektronisches oder mikroelektromechanisches Bauelement mit einem Grundkörper, der mit mindestens einer Durchführung versehen ist, die eine auf oder in einer Umgebung einer Oberseite des Grundkörpers verlaufende erste Leitstruktur mit einer auf oder in einer Umgebung einer Unterseite des Grundkörpers verlaufenden zweiten Leitstruktur zumindest für hochfrequente elektromagnetische Wellen durchgängig verbindet, wobei die Durchführung in Form eines geraden Prismas oder eines geraden Zylinders ausgebildet ist.

35

Aus der US 4,348,253 ist ein elektrisches Bauelement, insbesondere ein mikroelektronisches oder mikroelektromechanisches Hochfrequenzbauelement mit einem Grundkörper, der mit mindestens einer Durchführung versehen ist, bekannt. Die Durchführung verbindet eine auf oder in einer Umgebung einer Oberseite des Grundkörpers verlaufende erste Leitstruktur und eine auf oder in einer Umgebung einer Unterseite des Grundkörpers

verlaufende zweite Leitstruktur, wobei die Durchführung in Form eines geraden Prismas oder eines geraden Zylinders ausgebildet ist.

5 US 5,619,752 zeigt einen Wafer mit einem sich von einer Oberfläche zur anderen erstreckenden Via, das mit Hilfe eines Plasmaätzprozesses in den Grundkörper eingätzt wird.

10 Aus der US 6,225,651 B1 ist ein Verfahren zur Erzeugung eines elektrischen Bauelements mit einer Durchführung für hochfrequente elektromagnetische Wellen durch einen Grundkörper bekannt, wobei auf einer Oberseite des Grundkörpers zumindest bereichs-  
weise eine elektrisch leitfähige Schicht und auf einer Unterseite des Grundkörpers eine Ätzmaskierung aufgebracht wird, wobei in den Grundkörper mittels der Ätzmaskierung  
15 in einem Plasmaätzschritt mindestens eine den Grundkörper durchquerende Verbindung mit mindestens nahezu senkrechten Seitenwänden eingätzt wird, wobei nach dem Ätzen und einem Entfernen der Ätzmaskierung auf der Unterseite zumindest bereichsweise eine elektrisch leitfähige Schicht aufgebracht wird, und wobei die Verbindung mit einem elektrisch leitenden Material zumindest weitgehend ausgefüllt oder belegt wird.

20 In J.P. Quine, „Characterization of Via Connections in Silicon Circuit Boards”, IEEE Transactions in Microwave Theory and Techniques, Bd. 36, Nr. 1, S. 21-27, Januar 1988 wird die Analyse von leitenden, durch Siliziumdioxid von einem Siliziumwafer isolierten Vias, die zur Verbindung von streifenförmigen Übertragungskanälen dienen, beschrieben.

25 Schließlich offenbart die WO 02/33782 A1 eine Vorrichtung zur Führung von elektromagnetischen Wellen von einem Wellenleiter zu einem Übertragungskanal. Die Vorrichtung umfasst Kopplungsmittel, die zumindest eine dielektrische Schicht beinhalten, die eine Öffnung aufweist, die als elektrisch leitfähiges Via ausgebildet ist.

30 Die aus den vorgenannten Publikationen bekannten Durchführungen für mikroelektronische oder mikroelektromechanische Hochfrequenzbauelemente haben den Nachteil, dass sie aufgrund der anisotropen Nassätzung von Silizium mit der (111)-Ebene als Ätzstopp sehr viel Platz benötigen, und dass die auf den dort beschriebenen Silizium-Substraten geführten koplanaren Wellenleiter für hochfrequente elektromagnetische Wellen im Gigahertz-Bereich mit speziellen elektrischen Anpassstrukturen versehen werden müssen, um sie in ein entsprechendes Hochfrequenzbauelement integrieren zu können. Diese Anpassstrukturen führen andererseits zu einer Verschlechterung der Hochfrequenzeigenschaften

35

der elektrischen Bauelemente durch unerwünschte Verluste, eine Verringerung der Bandbreite bzw. das Erfordernis einer speziellen Impedanzanpassung.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung war die Bereitstellung eines elektrischen Bauelementes, insbesondere eines mikroelektronischen oder mikroelektromechanischen Hochfrequenzbauelementes, das einerseits hermetisch verkappbar ist, und bei dem es andererseits nicht zu den vorgenannten Nachteilen der aus dem Stand der Technik bekannten Durchführungen hinsichtlich ihrer Hochfrequenzeigenschaften kommt.

#### Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße elektrische Bauelement und das erfindungsgemäße Verfahren zu seiner Herstellung hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, dass die Durchführungen sehr viel kleiner sind als im Stand der Technik herstellbar sind, und dass auf zusätzliche spezielle Anpassstrukturen zur Integration dieser Durchführungen in eine Schaltung mit Leitstrukturen für hochfrequente elektromagnetische Wellen, insbesondere im Bereich von 1 GHz bis 80 GHz, in der Regel verzichtet werden kann.

Weiter ist vorteilhaft, dass bei der Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahren für die einzelnen Verfahrensschritte etablierte Techniken eingesetzt werden können, wie sie beispielsweise aus DE 42 41 045 C1 bekannt sind. Insbesondere lassen sich mit einem trockenen Plasmaätzen Durchführungen bzw. sogenannte „Vias“ mit nahezu senkrechten und glatten Seitenwänden realisieren, die sich durch geringe elektrische Verluste, insbesondere für hochfrequente elektromagnetische Wellen, und eine sehr gute Integrationsfähigkeit in eine Hochfrequenzschaltungsumgebung auszeichnen. Zudem sind derartige Durchführungen in allen Leitungstypen oder Leitstrukturen aus der Familie der planaren Wellenleiter, d.h. beispielsweise koplanare Wellenleiter, Mikrostreifenleiter oder sogenannte „slot-lines“, wie sie bereits in Meinke und Gundlach, "Taschenbuch der Hochfrequenztechnik", Band 2, Verlag Springer, 1992, beschrieben sind, einsetzbar.

Ein weiterer Vorteil der eingesetzten Plasmaätztechnik zur Erzeugung der Durchführung liegt darin, dass die Durchführungen nun mit einem hohen Aspektverhältnis, d.h. einem hohen Verhältnis von Durchmesser zu Höhe von typischerweise 1:10 oder mehr, und gleichzeitig einem in Draufsicht nahezu beliebigen Querschnitt, d.h. beispielsweise rund, quadratisch, rechteckig oder oval, gefertigt werden können.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen.

5 So ist vorteilhaft hinsichtlich der gewünschten Hochfrequenzeigenschaften, wenn die Durchführung mit einem Metall, beispielsweise Gold, als elektrisch leitfähigem Material gefüllt oder belegt ist.

10 Die Dimensionen der Durchführung liegen bevorzugt in Draufsicht im Bereich einer Fläche von  $400\ \mu\text{m}^2$  bis  $40.000\ \mu\text{m}^2$ , insbesondere  $1.600\ \mu\text{m}^2$  bis  $10.000\ \mu\text{m}^2$  bzw. bei einem Durchmesser von  $20\ \mu\text{m}$  bis  $200\ \mu\text{m}$ , insbesondere  $40\ \mu\text{m}$  bis  $100\ \mu\text{m}$ .

15 Der Grundkörper, d.h. in der Regel ein hochohmiger Siliziumwafer mit einem spezifischen Widerstand von mehr als  $100\ \Omega\text{cm}$ , weist zumindest im Bereich der Durchführung vorteilhaft eine typische Dicke von  $100\ \mu\text{m}$  bis  $650\ \mu\text{m}$ , beispielsweise  $200\ \mu\text{m}$ , auf.

20 Ein zentrales Problem bei zum Schutz vor äußeren Einflüssen bzw. der Einstrahlung von elektromagnetischen Feldern verpackten oder verkappten Hochfrequenzbauteilen oder mikromechanischen Bauteilen oder Sensorelementen ist schließlich die Durchführung von Leitstrukturen, die mit dem verpackten elektrischen Hochfrequenzbauteil in Verbindung stehen, aus einem von einer Verkappung eingeschlossenen Innenraum nach außen, da diese Durchführungen einerseits hermetisch dicht und andererseits hochfrequenztauglich ausgeführt werden müssen. Ein in einer Weiterbildung der Erfindung verkapptes elektrisches Bauelement vermeidet das Problem der Durchführung der Leitstrukturen durch die Verkappung vorteilhaft über einen Rückseitenkontakt durch den Grundkörper hindurch, so dass um das verkappte Bauteil ein freies Gebiet zur Verfügung steht, das als Bondfläche für die Verkappung verwendet werden kann.

### Zeichnungen

30 Die Erfindung wird anhand der Zeichnungen und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt Figur 1 eine Prinzipskizze eines Schnittes durch einen Ausschnitt eines Bauelementes mit einer Durchführung, Figur 2 eine Draufsicht auf die Oberseite von Figur 1, Figur 3 eine Draufsicht auf die Unterseite von Figur 1, Figur 4 eine Darstellung zweier benachbarter ungefüllter oder unbelegter Durchführungen in einem Grundkörper im Schnitt, Figur 5 eine Prinzipskizze einer Teststruktur mit zwei Durchführungen und ansonsten weitgehend analogem Aufbau gemäß den Figuren 1 bis 3 zur Vermessung

der Hochfrequenzeigenschaften dieser Struktur, Figur 6 einen Vergleich einer Messung der Reflexionsdämpfung einer doppelten Viadurchführung gemäß Figur 5 als Funktion der Frequenz und einen Vergleich mit einer Simulation ausgehend von einem Ersatzschaltbild gemäß Figur 7, Figur 7 ein Ersatzschaltbild für den Aufbau gemäß Figur 5, Figur 8 einen Vergleich einer Messung der Transmissionsdämpfung einer doppelten Viadurchführung gemäß Figur 5 im Vergleich mit einer Simulation auf der Grundlage des Ersatzschaltbildes gemäß Figur 7, Figur 9 ein alternatives Ausführungsbeispiel zu den Figuren 1 bis 3 mit einer versetzten Durchführung, Figur 10 ein weiteres alternatives Ausführungsbeispiel zu den Figuren 1 bis 3 mit einer kapazitiven Kopplung der Leitstrukturen, Figur 11 eine zu Figur 5 weitgehend analoge Teststruktur zur Analyse der Hochfrequenzeigenschaften einer Durchführung mit kapazitiver Kopplung gemäß Figur 10, Figur 12 verschiedene Simulationen der Reflexionsdämpfung einer doppelten Viadurchführung mit kapazitiver Kopplung gemäß Figur 11 als Funktion der Frequenz und der Kapazität, Figur 13 ein Ersatzschaltbild einer doppelten Viadurchführung gemäß Figur 11 und Figur 14 eine Prinzipskizze eines elektrischen Bauelementes im Schnitt mit einer Verkappung, das analog Figur 1, 5 oder 9 gebaut ist.

#### Ausführungsbeispiele

Die Figur 1 erläutert ein erstes Ausführungsbeispiel für ein elektrisches Bauelement 5 in Form eines mikroelektronischen Hochfrequenzbauelementes, wobei ein Grundkörper 10 in Form eines hochohmigen Siliziumwafers mit einem spezifischen elektrischen Widerstand von bevorzugt mehr als  $1.000 \Omega\text{cm}$  mit einer Mehrzahl von benachbarten Durchführungen 13 bzw. sogenannten „Vias“ versehen ist, die den Grundkörper 10 von dessen Oberseite 21 zu dessen Unterseite 20 durchqueren. Weiter ist auf der Oberseite 21 eine obere Leitstruktur 11 vorgesehen, während sich auf der Unterseite 20 eine untere Leitstruktur 12 befindet. Die Durchführungen 13 sind mit einem Metall, beispielsweise Gold, oder einem anderen, durch eine galvanische Abscheidung abscheidbaren Metall belegt. Schließlich ist vorgesehen, dass die belegte Durchführung 13 elektrisch leitend mit der oberen Leitstruktur 11 und der unteren Leitstruktur 12 in Verbindung steht, so dass die obere Leitstruktur 11 und die untere Leitstruktur 12 zumindest für hochfrequente elektromagnetische Wellen durchgängig miteinander verbunden sind. Die Durchführung 13 gemäß Figur 1 weist räumlich gesehen die Form eines geraden Prismas oder eines geraden Zylinders auf, das oder der mit dem Metall als elektrisch möglichst gut leitfähiges Material belegt ist.



Die Figur 2 zeigt eine Draufsicht auf Figur 1, so dass erkennbar wird, dass auf der Oberseite 21 insgesamt drei Durchführungen 13 benachbart nebeneinander auf einer gemeinsamen Verbindungslinie angeordnet sind. In Figur 2 sind dabei durch die gepunkteten Linien die in Draufsicht eigentlich nicht sichtbaren Durchführungen 13 angedeutet, die sich unterhalb der oberen Leitstruktur 11 befinden. Die obere Leitstruktur 11 gemäß Figur 2 ist in Form eines koplanaren Wellenleiters ausgeführt, wie er aus US 6,207,903 B1 oder DE 100 37 385 A1 bekannt ist. Insbesondere weist die obere Leitstruktur 11 zwei parallel zueinander verlaufende Masseleitungen 11' auf, die eine Signalleitung 11'' einschließen. Weiter werden gemäß Figur 2 die Masseleitungen 11' bzw. die Signalleitung 11'' mit Hilfe der diesen jeweils zugeführten Durchführungen 13 von der Oberseite 21 mit der Unterseite 20 des Grundkörpers 10 verbunden.

Die Figur 3 zeigt eine Draufsicht auf die Unterseite 20 gemäß Figur 1 bzw. die gegenüberliegende Seite von Figur 2. Auch hier sind erneut die eigentlich nicht sichtbaren Durchführungen 13 durch gepunktete Linien angedeutet. Auf der Unterseite 20 des Grundkörpers 10 verläuft schließlich auch hier als untere Leitstruktur 12 ein planarer Wellenleiter in Form eines koplanaren Wellenleiters mit zwei zueinander parallelen Masseleitungen 12', die eine Signalleitung 12'' einschließen.

Die Figur 4 zeigt einen Schnitt durch einen Grundkörper 10 mit zwei Durchführungen 13 vor deren Ausfüllung oder Belegung mit einem elektrisch leitfähigen Material, beispielsweise einem Metall. Insbesondere ist in Figur 4 erkennbar, wie mit Hilfe eines Plasmatrockenätzverfahrens, beispielsweise gemäß DE 42 41 045 C1, durch anisotrope Plasmaätzung Trenchgräben 14 in das Substrat 10, im erläuterten Beispiel einen Siliziumwafer, eingätzt worden sind, die senkrecht zu dem zumindest in diesem Bereich ebenen Grundkörper 10 verlaufen, und die diesen durchqueren. Man erkennt deutlich, dass die Trenchgräben 14 nahezu senkrechte und weitgehend glatte Seitenwände aufweisen, wobei der Grundkörper 10 gemäß Figur 4 eine Dicke von ca. 200 µm besitzt, während die Breite der Trenchgräben 14 bei ca. 100 µm liegt.

Die Figur 5 zeigt eine Teststruktur zur Bestimmung der Hochfrequenzeigenschaften eines elektrischen Bauelementes 5 mit einer Durchführung 13 von einer oberen Leitstruktur 11 zu einer unteren Leitstruktur 12 gemäß Figur 1 bzw. Figur 2 und 3. Im Unterschied zu Figur 1 sind hier jedoch zwei Durchführungen 13 vorgesehen, die beispielsweise gemäß Figur 4 beabstandet voneinander ausgebildet und mit einem Metall gefüllt oder belegt sind. Diese beiden Durchführungen 13 verbinden eine auf der Oberseite 21 angeordnete obere

Leitstruktur 11 in Form eines koplanaren Wellenleiters gemäß Figur 2 mit zwei unteren Leitstrukturen 12, die ebenfalls als koplanare Wellenleiter jeweils gemäß Figur 3 ausgebildet sind. Die obere Leitstruktur 11 weist gemäß Figur 5 eine Länge  $l_2$  von 0,5 mm bei einer Impedanz von  $46 \Omega$  auf, während die unteren Leitstrukturen 12 jeweils eine Länge  $l_1$  von 2,35 mm und ebenfalls eine Impedanz von  $46 \Omega$  aufweisen. Mit Hilfe der Teststruktur gemäß Figur 5 wird im Bereich eines ersten Messpunktes 40 eine hochfrequente elektromagnetische Wechselspannung in die Teststruktur eingespeist und im Bereich eines zweiten Messpunktes 41 das transmittierte Signal aufgenommen.

Die Figur 7 zeigt ein Ersatzschaltbild für die Teststruktur gemäß Figur 5. Dabei ist berücksichtigt, dass die Durchführungen 13 jeweils als Serienschaltungen eines ohm'schen Widerstandes  $R$  mit einer Induktivität  $L$ , der eine Kapazität  $C_s$  parallel geschaltet ist, dargestellt werden können. Der erhöhte kapazitive Belag innerhalb der Durchführungen 13 wird mit Hilfe der Kapazitäten  $C_p$  berücksichtigt.

Die Figur 6 zeigt eine Messung der Reflexionsdämpfung 30 elektromagnetischer Wellen im Frequenzbereich von ca. 1 GHz bis ca. 50 GHz an der Teststruktur gemäß Figur 5, sowie einen Vergleich mit einer Simulation der Reflexionsdämpfung 31 in diesem Frequenzbereich, wobei für diese Simulation das Ersatzschaltbild gemäß Figur 7 mit den angegebenen Längen  $l_1$ ,  $l_2$  und der angegebenen Impedanzen der Leitstrukturen 11, 12 herangezogen wurde. Man erkennt, dass Simulation und Messung, abgesehen vom Frequenzbereich größer 35 GHz, sehr gut übereinstimmen, so dass mit Hilfe des Ersatzschaltbildes gemäß Figur 7 eine Berechnung und damit auch eine gezielte Einstellung der Eigenschaften eines elektrischen Bauelementes 5, das ähnlich Figur 5 aufgebaut ist, hinsichtlich der Reflexionsdämpfung vorgenommen werden kann.

Die Figur 8 zeigt eine Messung der Transmissionsdämpfung 32 an der Teststruktur gemäß Figur 5, sowie einen Vergleich mit der Simulation der Transmissionsdämpfung 33 der Teststruktur 5, wobei auch hier für die Zwecke der Simulation das Ersatzschaltbild gemäß Figur 7 herangezogen wurde. Auch die Messung der Transmissionsdämpfung 32 befindet sich, abgesehen vom Frequenzbereich größer 35 GHz, in sehr guter Übereinstimmung mit der Simulation der Transmissionsdämpfung 33.

Die Figur 9 zeigt ein gegenüber dem Ausführungsbeispiel gemäß den Figuren 1 bis 3 geringfügig abgewandeltes Ausführungsbeispiel, wobei die der oberen Signalleitung 11'' bzw. unteren Signalleitung 12'' zugeordnete Durchführung 13' gegenüber den beiden be-

nachbarten Durchführungen 13 versetzt worden ist, d.h. Figur 9 weist eine versetzte Durchführung 13' auf, die gegenüber der Verbindungslinie der beiden Durchführungen 13 um einen Abstand  $v$  von beispielsweise 50  $\mu\text{m}$  bis 300  $\mu\text{m}$ , insbesondere 150  $\mu\text{m}$ , versetzt ist. Die versetzte Durchführung 13' kann dabei gegenüber der Verbindungslinie der beiden Durchführungen 13, wie in Figur 9 erläutert, zurückgesetzt sein, was bevorzugt ist, sie kann jedoch auch vorversetzt sein. Die Figur 9 zeigt im Übrigen lediglich die Unterseite 20 des Grundkörpers 10, es ist jedoch klar, dass die Oberseite 21 entsprechend aufgebaut ist.

Durch die versetzten Durchführungen 13, 13', sogenannten „staggered Vias“, gemäß Figur 9 wird eine Performance-Steigerung hinsichtlich der Transmissionseigenschaften für hochfrequente elektromagnetische Wellen erreicht. Aus Simulation und Messung ergibt sich eine besonders geringe Reflexion und große Transmission für elektromagnetische Wellen im GHz-Bereich bei einem Versatz  $v$  von 50  $\mu\text{m}$  bis 300  $\mu\text{m}$ , insbesondere 150  $\mu\text{m}$ .

Die Figur 10 zeigt ein weiteres, zu dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1 oder 9 alternatives Ausführungsbeispiel, wobei hier im Unterschied zu Figur 1 die obere Leitstruktur 11 von der Durchführung 13 durch ein Dielektrikum 15, insbesondere in Form einer strukturierten dielektrischen Schicht, beispielsweise aus Siliziumdioxid, getrennt ist. Auf diese Weise ist die obere Leitstruktur 11 von der unteren Leitstruktur 12 für Gleichstrom elektrisch isoliert, während für hochfrequente elektromagnetische Wellen eine kapazitive Kopplung durch das Dielektrikum 15 über die Durchführung 13 zwischen oberer Leitstruktur 11 und unterer Leitstruktur 12 gegeben ist, d.h. der Aufbau gemäß Figur 10 wirkt ähnlich einem Kondensator und kann damit vor allem sehr hochfrequente elektromagnetische Wellen im GHz-Bereich weiterhin übertragen.

Das Dielektrikum 15 weist bei einer Größe der Durchführung 13 von beispielsweise 50  $\mu\text{m}$  x 50  $\mu\text{m}$  bevorzugt eine Dicke von 45 nm bis 1.800 nm, insbesondere 90 nm bis 900 nm auf, was im Rahmen üblicher Technologien gut erreichbare Werte sind, d.h. es bildet mit den Leitstrukturen 11, 12 und der Durchführung 13 einen Kondensator mit einer Kapazität von 0,05 pF bis 4 pF, insbesondere 0,1 pF bis 2 pF. Es ist weiter bevorzugt entsprechend der Fläche der Durchführung 13 in Draufsicht dimensioniert oder geringfügig größer ausgeführt und kann zusätzlich auch auf der Unterseite 20 oder alternativ nur auf der Unterseite 20 des Grundkörpers 10 vorgesehen sein. Bevorzugt ist die in Figur 10 gezeigte Variante.

Die Figur 11 zeigt, ausgehend von Figur 10, eine Teststruktur zur Analyse der Übertragungseigenschaften für hochfrequente elektromagnetische Wellen über eine Durchführung mit kapazitiver Kopplung gemäß Figur 10 anhand zweier paralleler Durchführungen 13, die im Bereich eines ersten Messpunktes 40 mit hochfrequenten elektromagnetischen Wellen beaufschlagt werden. Die hochfrequenten elektromagnetischen Wellen werden danach im Bereich eines zweiten Messpunktes 41 nach Transmission durch beide Durchführungen und Übertragung über die Leitstrukturen 12, 11, 12 erfasst. Die Dimensionierung der oberen Leitstruktur 11 bzw. der unteren Leitstruktur 12 sowie der Durchführungen 13 ist in Figur 11, abgesehen von dem Dielektrikum 15, entsprechend der Teststruktur gemäß Figur 5.

Die Figur 13 zeigt ein Ersatzschaltbild für die Teststruktur gemäß Figur 11, das sich von dem Ersatzschaltbild gemäß Figur 7 für die Teststruktur gemäß Figur 5 lediglich durch die zusätzliche, in Reihe mit dem ohm'schen Widerstand  $R$  und der Induktivität  $L$  geschaltete Kapazität  $C_s$  unterscheidet, die über das Dielektrikum 15 bereitgestellt wird.

Die Figur 12 zeigt verschiedene Simulationen der Reflexionsdämpfung 31 für elektromagnetische Wellen im Frequenzbereich von ca. 1 GHz bis ca. 50 GHz, die mit Hilfe des Ersatzschaltbildes 13 für die Teststruktur 11 als Funktion der Kapazität  $C_s$  berechnet worden sind. Dabei ergibt sich für den Fall  $C_s = 0$ , d.h. den Fall, dass das Dielektrikum 15 nicht vorhanden ist, wieder die Teststruktur gemäß Figur 5 bzw. das Ersatzschaltbild gemäß Figur 7. Insofern deckt sich die Simulation der Reflexionsdämpfung 31 für  $C_s = 0$  in Figur 12 mit der entsprechenden Simulation der Reflexionsdämpfung 31 in Figur 6. Als Funktion der Kapazität  $C_s$  erkennt man in Figur 12 weiter, dass sich die Transmissionseigenschaften der Teststruktur 11 erheblich verändern, so dass es über die Variation der Kapazität  $C_s$  gezielt und im voraus berechenbar möglich ist, die Transmissions- bzw. Reflexionseigenschaften für hochfrequente elektromagnetische Wellen der Teststruktur 11 an ein gewünschtes Eigenschaftsprofil anzupassen.

Insgesamt führt der Einsatz einer dielektrischen Schicht 15 gemäß Figur 10 bzw. Figur 11 dazu, dass man nun eine gezielte Anpassung der Transmissionseigenschaften der Teststruktur bzw. auch eines elektrischen Bauelementes 5 als Funktion der Frequenz vornehmen kann. So lässt sich durch Veränderung der Kapazität  $C_s$  von 0,1 pF bis 2 pF die Mittelfrequenz gemäß Figur 12 von ca. 10 GHz bis ca. 50 GHz verschieben.

Die Figur 14 zeigt eine Prinzipskizze eines vollständigen elektrischen Bauelementes 5, insbesondere eines mikroelektronischen oder mikroelektromechanischen Hochfrequenzbauelementes, wobei zwei Durchführungen 13 vorgesehen sind, die jeweils die Unterseite 20 des Grundkörpers 10, der ein Siliziumwafer ist, mit dessen Oberseite 21 verbinden.

5 Auf der Unterseite 20 verlaufen jeweils einer der Durchführungen 13 zugeordnete untere Leitstrukturen 12, die in Form von koplanaren Wellenleitern gemäß Figur 3 ausgebildet sind. Die obere Leitstruktur 11 auf der Oberseite 21 ist ebenfalls als koplanarer Wellenleiter ausgebildet und steht mit einem nicht näher dargestellten elektrischen Bauteil 17 oder Sensorelement, insbesondere einem mikroelektronischen oder mikroelektromechanischen Hochfrequenzbauteil, in Verbindung. Dieses elektrische Bauteil 17 ist beispielsweise eine Hochfrequenzdiode, ein Hochfrequenztransistor, ein in Mikromechanik gefertigter Kurzschlusschalter gemäß DE 100 37 385 A1 oder ein anderes in Mikromechanik gefertigtes Sensorelement.

15 Schließlich ist gemäß Figur 14 eine Verkappung 16 vorgesehen, die das elektrische Bauteil 17 hermetisch dicht verkappt und somit vor Umwelteinflüssen wie Feuchtigkeit, Korrosion oder Schmutz und unerwünschten Gasen schützt.

20 Das Material der Verkappung 16 ist bevorzugt ein Material, das einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten ähnlich dem des Materials des Grundkörpers 10, d.h. Silizium, aufweist, und das sich auch mikrosystemtechnisch herstellen lässt. Bevorzugt werden als Material für die Verkappung 16 Silizium und Floatglas wie Borosilikat-Floatglas eingesetzt.

25 Zur Herstellung der Verkappung 16 werden in eine Siliziumscheibe oder Glasscheibe in üblicher Weise geeignet dimensionierte Kavernen eingeätzt, in denen sich später das beispielsweise als mikroelektromechanisches Hochfrequenzbauteil („HF-MEMS-Struktur“) ausgebildete elektrische Bauteil 17 befindet.

30 Zur Befestigung der Verkappung 16 auf dem Grundkörper 10, insbesondere mit Hilfe eines „Bondrahmens“ wird bevorzugt eine Glasfritte eingesetzt. Im Fall des Borosilikat-Floatglases kann man sich auch des anodischen Bondens bedienen. Danach werden die verkappten Bauteile durch Sägen 17 vereinzelt und in eine Schaltungsumgebung integriert. Zudem können, sofern erforderlich, die verkappten elektrischen Bauteile 17 nach 35 der Metallisierung der Durchführungen 13 integrationsseitig auch noch mit üblichen Anschlusskontakten („bumps“) für einen Löt- oder Klebeprozess versehen werden.

Durch die Verkappung 16 ist somit ein hermetisch dicht abgeschlossener Innenraum 18 entstanden, in dem sich das elektrische Bauteil 17, das über die obere Leitstruktur 11 und die Durchführungen 13 für hochfrequente elektromagnetische Wellen durchgängig mit den unteren Leitstrukturen 12 verbunden und darüber elektrisch ansteuerbar ist, auf dem Grundkörper 10 oder im Bereich der Oberfläche des Grundkörpers 10 befindet.

Den vorstehenden Ausführungsbeispielen ist gemein, dass die Durchführungen 13 von mit Hilfe eines Plasmaätzverfahrens in das Substrat 10 eingeätzten Trenchgräben 14 gebildet werden, die beispielsweise mit einem Metall gefüllt oder belegt wurden. Die Durchführungen 13 sind daher als gefüllte bzw. belegte gerade Prismen, d.h. Körper mit kongruenten Vielecken als Grundflächen, wobei die Kanten senkrecht auf der Grundfläche stehen, oder gefüllte bzw. belegte gerade Zylinder, d.h. Körper, der von einer Zylinderfläche mit geschlossener Leitkurve und zwei parallelen Ebenen, den Grundflächen des Zylinders, begrenzt wird, ausgebildet. Insbesondere sind die Durchführungen 13 gegenüber dem Stand der Technik vergleichsweise klein, und sie weisen ein relativ hohes Aspektverhältnis bei weitgehend beliebigem Querschnitt auf. Im Übrigen sei betont, dass die Dicke des Grundkörpers 10 für die Hochfrequenzeigenschaften der Durchführungen 13 nicht in erster Linie entscheidend ist, sondern vielmehr deren laterale Ausmessungen und ihre Form.

Die erfindungsgemäßen Hochfrequenzdurchführungen (HF-Vias) können bspw. in Kreuzungspunkten angewendet werden. Damit lassen sich verlustarme Hochfrequenzkreuzungen aufbauen.

In einer Kreuzung wird der eine Signalpfad durchgeführt, der andere unterbrochen. Die Figur 15 zeigt eine solche Anordnung für koplanare Leiterbahnen (41, 42), die Figur 16 eine solche für Mikrostreifenleitungen (43, 44). Diese Unterbrechung wird nun erfindungsgemäß durch folgende Struktur überbrückt. Ein koplanares HF-Via (45, 46) führt von der Unterseite (50) auf die Oberseite (47) des Substrats (51), bspw. Silicium (vgl. Figuren 17 und 18). Dort läuft eine Kopplanarleitung (48) auf die andere Seite der Struktur, wo sich ein weiteres HF-Via (49) anschließt, welches wiederum auf die Unterseite (50) des Substrats (51) führt. Der unten liegende Signalpfad wird also überbrückt, benötigt evtl. jedoch aufgrund des Substrateinflusses eine Impedanzanpassung. Der Chip (Substrat) (51) kann mit Bumps (52) versehen werden und so den elektrischen und mechanischen Kontakt herstellen.

Das Verfahren zur Herstellung einer Durchföhrung 13 gemäÖ Figur 1 sieht vor, dass zunäöht als Ausgangsmaterial bzw. Grundk6rper 10 gereinigtes hochohmiges Silizium mit einem spezifischen Widerstand von mehr als 1.000  $\Omega\text{cm}$  bereitgestellt wird, auf dieses einseitig, z.B. auf der Oberseite 21, eine leitfäöhige, galvaniktaugliche Metallschicht aufgesputtert und anschließend gegebenenfalls strukturiert wird, danach auf der Unterseite 20 des Grundk6rpers 10 ein Fotolack aufgebracht und im Bereich der zu erzeugenden Durchföhrungen 13 fotolithographisch strukturiert wird, d.h. eine Lackmaske als Ätzmaskierung bildet, nachfolgend in einem Plasmatrockenätzschritt, beispielsweise gemäÖ DE 42 41 045 C1 das Silizium im Bereich der zu erzeugenden Durchföhrungen 13 durch den Grundk6rper 10 hindurch bis zu der gegenüber liegenden Metallschicht durchgeätzt wird, nach anschließender Entfernung der Lackmaske die zunäöht nicht metallisierte Seite des Grundk6rpers 10 durch Sputtern ebenfalls zumindest bereichsweise metallisiert wird, danach durch Aufbringen einer Lackmaske auf beiden Seiten des Grundk6rpers 10 und anschließender galvanischer Verstärkung die Leitstrukturen 11, 12 in Form von beispielsweise koplanaren Wellenleitern für hochfrequente elektromagnetische Wellen erzeugt und gleichzeitig die erzeugten Durchföhrungen 13 metallisch verstärkt werden, und abschließend durch einen Ätزشritt für Zwecke der galvanischen Verstärkung erzeugte übliche Galvanikzuleitungen beidseitig wieder entfernt werden, so dass neben den Leitstrukturen 11, 12 die erzeugten, mit einem Metall belegten Durchföhrungen 13 stehen bleiben.

Eine alternative Variante zu diesem Verfahren sieht vor, dass nach dem Bereitstellen des gereinigten hochohmigen Siliziums als Ausgangsmaterial auf die Oberseite 21 zunäöht eine dielektrische Schicht einseitig aufgebracht und gegebenenfalls strukturiert wird, danach die leitfäöhige, galvaniktaugliche Metallschicht einseitig aufgesputtert und gegebenenfalls strukturiert wird, nachfolgend erneut auf der Unterseite 20 ein Fotolack aufgebracht und im Bereich der zu erzeugenden Durchföhrungen 13 fotolithographisch strukturiert wird, so dass eine Lackmaske als Ätzmaskierung entsteht, und danach in einem Plasmaätzschritt das Silizium im Bereich der zu erzeugenden Durchföhrungen 13 bis zu der auf der gegenüber liegenden Seite vorhandenen dielektrischen Schicht durchgeätzt wird, wodurch sich Trenchgräben 14 bilden, die den Grundk6rper 10 senkrecht durchqueren. Nach einem Entfernen der Lackmaske als Ätzmaskierung wird dann zunäöht die dielektrische Schicht, die bevorzugt eine Oxidschicht ist, zumindest im Bereich der zu erzeugenden Durchföhrungen 13 wieder entfernt, und die zunäöht nicht metallisierte Seite des Grundk6rpers 10, beispielsweise durch Sputtern, metallisiert, bevor erneut durch

Aufbringen von Fotolackmasken auf beiden Seiten des Grundkörpers 10 und anschließende galvanische Verstärkung die Leitstrukturen 11 bzw. 12 erzeugt und die Durchführung 13 metallisch verstärkt bzw. mit einem Metall belegt wird. Abschließend werden dann in einem Ätzschritt erzeugte Galvanikzuleitungen beidseits des Grundkörpers 10 wieder entfernt, so dass nur die Leitstrukturen 11, 12 und die Durchführung 13 bestehen bleiben.

Ergänzend sei noch betont, dass sich die vorstehend erläuterten Verfahren zur Realisierung aller bekannten Typen von Leitstrukturen und insbesondere planaren Wellenleitern wie koplanaren Wellenleitern, Mikrostreifenleitern und sogenannten „slot-lines“ eignen.

Das Verfahren zur Erzeugung eines elektrischen Bauelementes 5 gemäß Figur 10 mit einer kapazitiven Kopplung durch ein Dielektrikum 15 unterscheidet sich von dem vorstehend erläuterten Verfahren lediglich dadurch, dass nach dem Entfernen der Ätzmaskierung nach dem Plasmaätzschritt das Dielektrikum 15, das erneut bevorzugt als Oxidschicht vorliegt, in dem Bereich der Durchführung 13 nicht wieder entfernt wird, und in Gegenwart des Dielektrikums 15 die noch nicht metallisierte Seite des Grundkörpers 10 beispielsweise durch Sputtern metallisiert wird. Das weitere Vorgehen ist dann wie vorstehend bereits beschrieben.

Alternativ oder zusätzlich zum Einsatz einer dielektrischen Schicht 15 zur kapazitiven Kopplung können im Bereich der oberen Leitstruktur 11 und/oder im Bereich der unteren Leitstruktur 12 im Übrigen auch weitere Serienkapazitäten zur HF-Kompensation eingesetzt sein, die beispielsweise durch den Leitstrukturen 11, 12 vorgeschaltete kapazitive Leitungsstücke wie beispielsweise Interdigitalkapazitäten realisiert sind.



5

## Patentansprüche

- 10 1. Elektrisches Bauelement, insbesondere mikroelektronisches oder mikroelektro-  
mechanisches Hochfrequenzbauelement, mit einem Grundkörper (10), der mit mindestens  
einer Durchführung (13) versehen ist, die eine auf oder in einer Umgebung einer Ober-  
seite (21) des Grundkörpers (10) verlaufende erste Leitstruktur (11) mit einer auf oder in  
einer Umgebung einer Unterseite (20) des Grundkörpers (10) verlaufenden zweiten Leit-  
15 struktur (12) zumindest für hochfrequente elektromagnetische Wellen durchgängig ver-  
bindet, wobei die Durchführung (13) in Form eines geraden Prismas oder eines geraden  
Zylinders ausgebildet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und/oder die zweite  
Leitstruktur (11, 12) als planarer Wellenleiter, insbesondere als koplanarer Wellenleiter  
ausgebildet ist.
- 20 2. Elektrisches Bauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die  
Durchführung (13) mit einem elektrisch leitfähigen Material, insbesondere einem Metall,  
gefüllt oder belegt ist.
- 25 3. Elektrisches Bauelement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass  
der Grundkörper (10) zumindest in einer Umgebung der Durchführung (13) eben ist, und  
dass die Durchführung (13) senkrecht zu der von dieser ebenen Umgebung aufgespannten  
Ebene verläuft und den Grundkörper (10) durchquert.
- 30 4. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch  
gekennzeichnet, dass die Durchführung (13) eine mit Hilfe eines Plasmaätzverfahrens in  
den Grundkörper (10) eingätzte und danach mit einem elektrisch leitfähigen Material ge-  
füllte oder belegte Durchführung (13) ist.

5. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchführung (13) in Draufsicht rund, oval, quadratisch oder rechteckig ausgebildet ist.

5 6. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchführung (13) in Draufsicht eine Fläche von  $400 \mu\text{m}^2$  bis  $40000 \mu\text{m}^2$ , insbesondere von  $1600 \mu\text{m}^2$  bis  $10000 \mu\text{m}^2$ , einnimmt und/oder einen Durchmesser von  $20 \mu\text{m}$  bis  $200 \mu\text{m}$ , insbesondere  $40 \mu\text{m}$  bis  $100 \mu\text{m}$ , aufweist.

10 7. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Grundkörper (10) im Bereich der Durchführung (13) eine Dicke von  $100 \mu\text{m}$  bis  $650 \mu\text{m}$  aufweist.

15 8. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Grundkörper (10) eine hochohmige Siliziumscheibe, insbesondere mit einem spezifischen elektrischen Widerstand von mehr als  $1000 \Omega\text{cm}$ , ist.

20 9. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die obere Leitstruktur (11) oder die untere Leitstruktur (12) von der Durchführung (13) durch ein Dielektrikum (15), insbesondere eine strukturierte dielektrische Schicht, getrennt ist.

25 10. Elektrisches Bauelement nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Dielektrikum (15) mit den Leitstrukturen (11, 12) und der Durchführung (13) einen Kondensator mit einer Kapazität von  $0,05 \text{ pF}$  bis  $4 \text{ pF}$ , insbesondere  $0,1 \text{ pF}$  bis  $2 \text{ pF}$ , bildet, und/oder dass das Dielektrikum (15) eine Siliziumoxidschicht mit einer Dicke von  $45 \text{ nm}$  bis  $1800 \text{ nm}$ , insbesondere  $90 \text{ nm}$  bis  $900 \text{ nm}$ , ist.

30 11. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die obere Leitstruktur (11) als oberer koplanarer Wellenleiter mit einer ersten oberen Masseleitung (11'), einer oberen Signalleitung (11'') und einer zweiten oberen Masseleitung (11') ausgebildet ist, die zumindest bereichsweise parallel zueinander verlaufen, dass die untere Leitstruktur (12) als oberer koplanarer Wellenleiter mit einer ersten unteren Masseleitung (12'), einer unteren Signalleitung (12'') und einer

zweiten unteren Masseleitung (12') ausgebildet ist, die zumindest bereichsweise parallel zueinander verlaufen, dass die erste Masseleitung (11') der oberen Leitstruktur (11) mit der ersten Masseleitung (12') der unteren Leitstruktur (12) über eine erste Durchführung (13), die zweite Masseleitung (11') der oberen Leitstruktur (11) mit der zweiten Masseleitung (12') der unteren Leitstruktur (12) über eine zweite Durchführung (13) und die Signalleitung (11'') der oberen Leitstruktur (11) mit der Signalleitung (12'') der unteren Leitstruktur (11) über eine dritte Durchführung (13) in Verbindung steht, und dass die dritte Durchführung (13') gegenüber der ersten Durchführung (13) und der zweiten Durchführung (13) versetzt ist.

12. Elektrisches Bauelement nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Versatz (v) der dritten Durchführung (13') in Draufsicht auf den Grundkörper (10) 50 µm bis 300 µm, insbesondere 150 µm, beträgt.

13. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die erste oder die zweite Leitstruktur (11, 12) bereichsweise ein kapazitives Bauteil, insbesondere einen Interdigitalkondensator, zur weiteren HF-Kompensation aufweist.

14. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberseite (21) des Grundkörpers (10) mit einem elektrischen Bauteil (17) oder Sensorelement, insbesondere einem mikroelektronischen oder mikroelektromechanischen Hochfrequenzbauteil wie einer Hochfrequenzdiode oder einem Hochfrequenztransistor, einem in Mikromechanik gefertigten Kurzschlusschalter für hochfrequente elektromagnetische Wellen oder einem in Mikromechanik gefertigten Sensorelement, versehen ist, das über die Durchführung (13), insbesondere über mindestens zwei derartige Durchführungen (13), von der Unterseite (20) des Grundkörpers (10) elektrisch ansteuerbar ist.

15. Elektrisches Bauelement nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das elektrische Bauteil (17) auf der Oberseite des Grundkörpers (10) mit einer hermetisch dichten Verkappung (16) versehen ist

16. Verfahren zur Erzeugung eines elektrischen Bauelementes (5) mit einer Durchführung (13) für hochfrequente elektromagnetische Wellen durch einen Grundkörper (10) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei auf einer Oberseite (21) des Grundkörpers (10) zumindest bereichsweise eine elektrisch leitfähige Schicht und auf einer Unterseite (20) des Grundkörpers (10) eine Ätzmaskierung aufgebracht wird, wobei in den Grundkörper (10) mittels der Ätzmaskierung in einem Plasmaätzschritt mindestens ein den Grundkörper (10) durchquerender Trenchgraben (14) mit zumindest nahezu senkrechten Seitenwänden eingeätzt wird, wobei nach dem Ätzen und einem Entfernen der Ätzmaskierung auf der Unterseite (20) zumindest bereichsweise eine elektrisch leitfähige Schicht aufgebracht wird, und wobei der Trenchgraben (14) mit einem elektrisch leitfähigen Material, insbesondere mittels galvanischer Abscheidung, zumindest weitgehend ausgefüllt oder belegt wird.

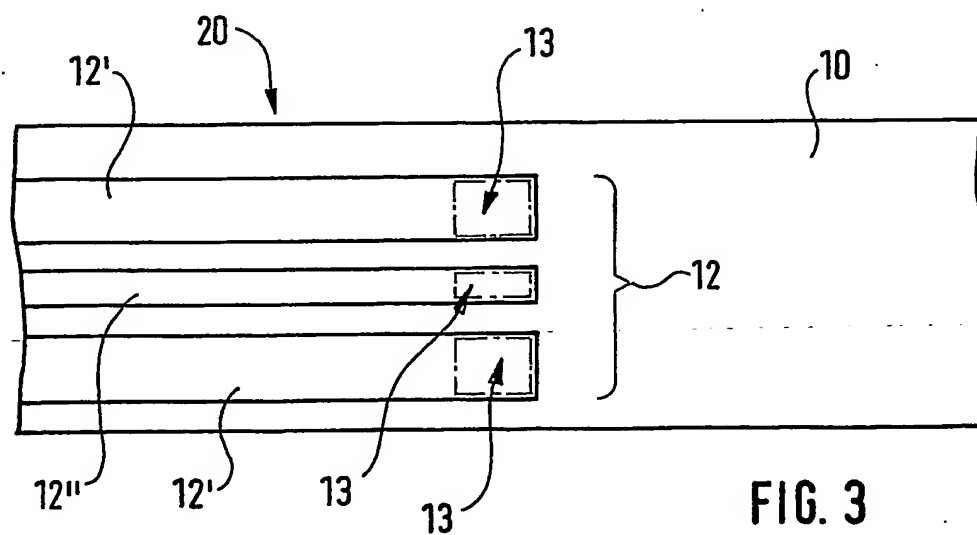
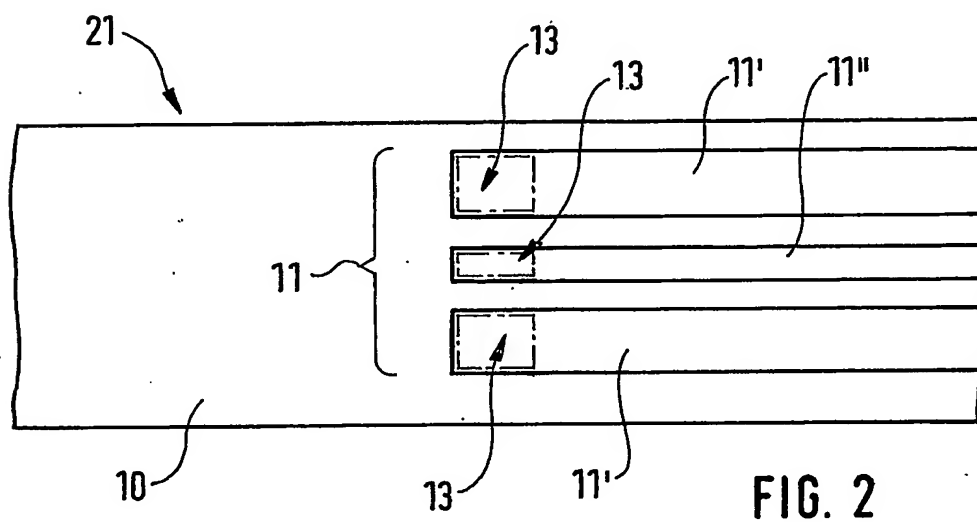
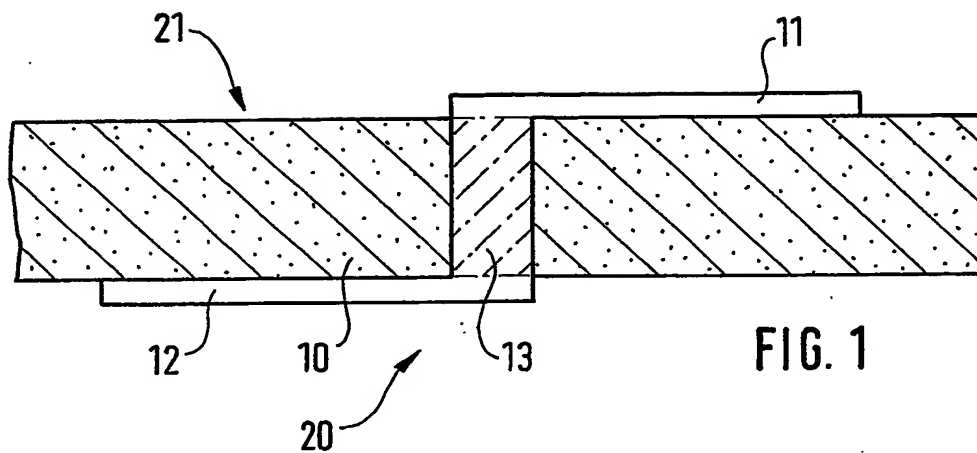
17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrisch leitfähige Schicht auf der Oberseite (21) und/oder der Unterseite (20) durch Abscheiden oder Aufputtern eines Metalls, insbesondere eines für eine nachfolgende galvanische Verstärkung geeigneten Metalls, erzeugt und entsprechend einer auf der Oberseite (21) und/oder der Unterseite (20) zu erzeugenden Leitstruktur (11, 12) strukturiert wird.

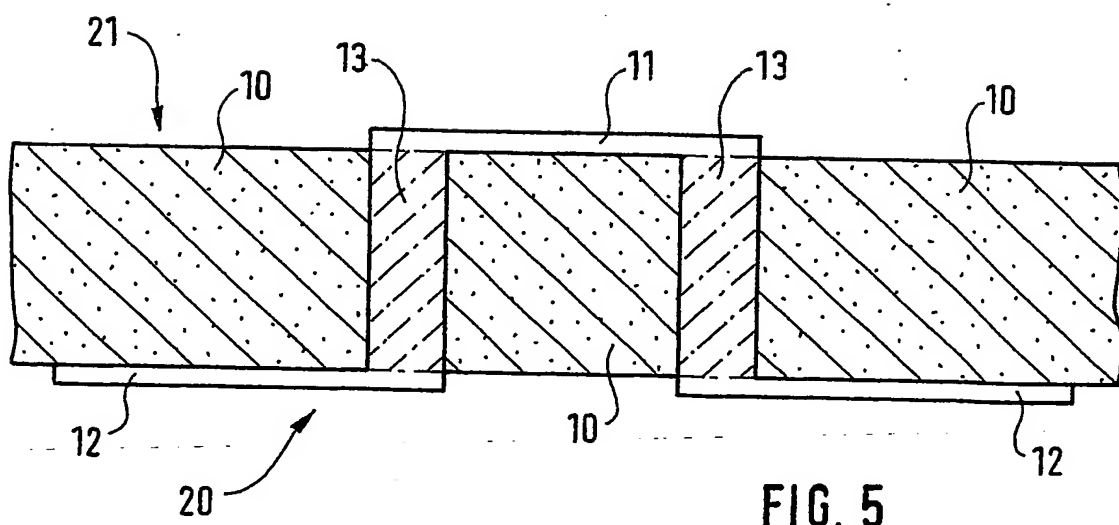
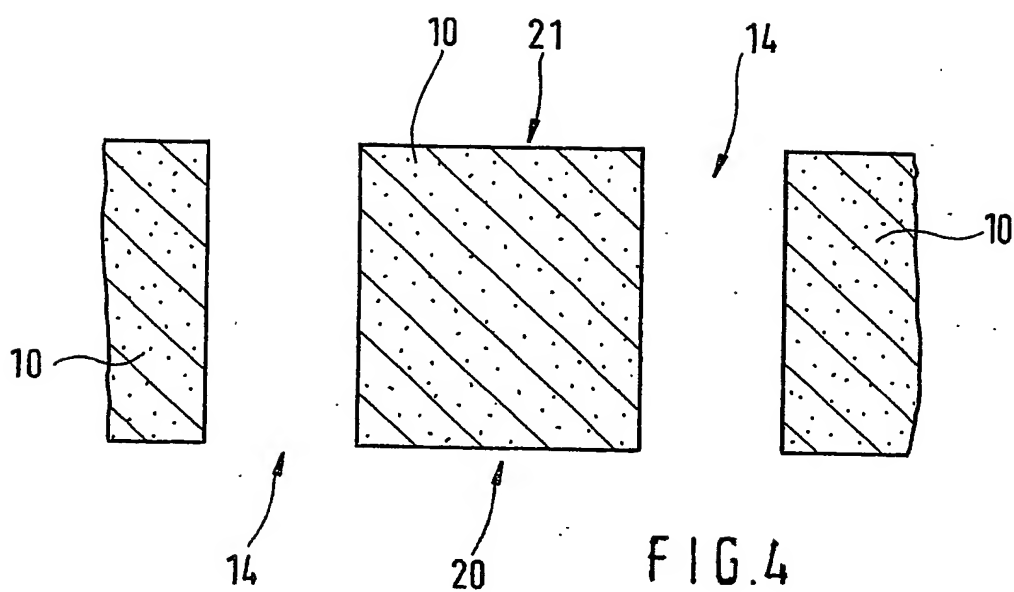
18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass als Ätzmaskierung ein Photolack aufgebracht wird, der photolithographisch strukturiert wird.

19. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Einätzen des Trenchgrabens (14) beidseits des Grundkörpers (10) Photolackmasken aufgebracht und auf der Oberseite (21) und der Unterseite (20) metallische Leitstrukturen (11, 12), insbesondere in Form von planaren Wellenleitern, zusammen mit dem den Trenchgraben (14) füllenden oder belegenden elektrisch leitfähigen Material galvanisch abgeschieden werden.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Abscheiden der elektrisch leitfähigen Schicht auf der Oberseite (21) des Grundkörpers (10) dort bereichsweise eine in Draufsicht an die Fläche der zu erzeugenden Durchführung (13) angepasste oder geringfügig größere dielektrische Schicht (15) abgeschieden wird.

21. Verwendung des elektrischen Bauelements nach einem der Ansprüche 1 bis 15 zur Bildung von verlustarmen Hochfrequenzkreuzungen.





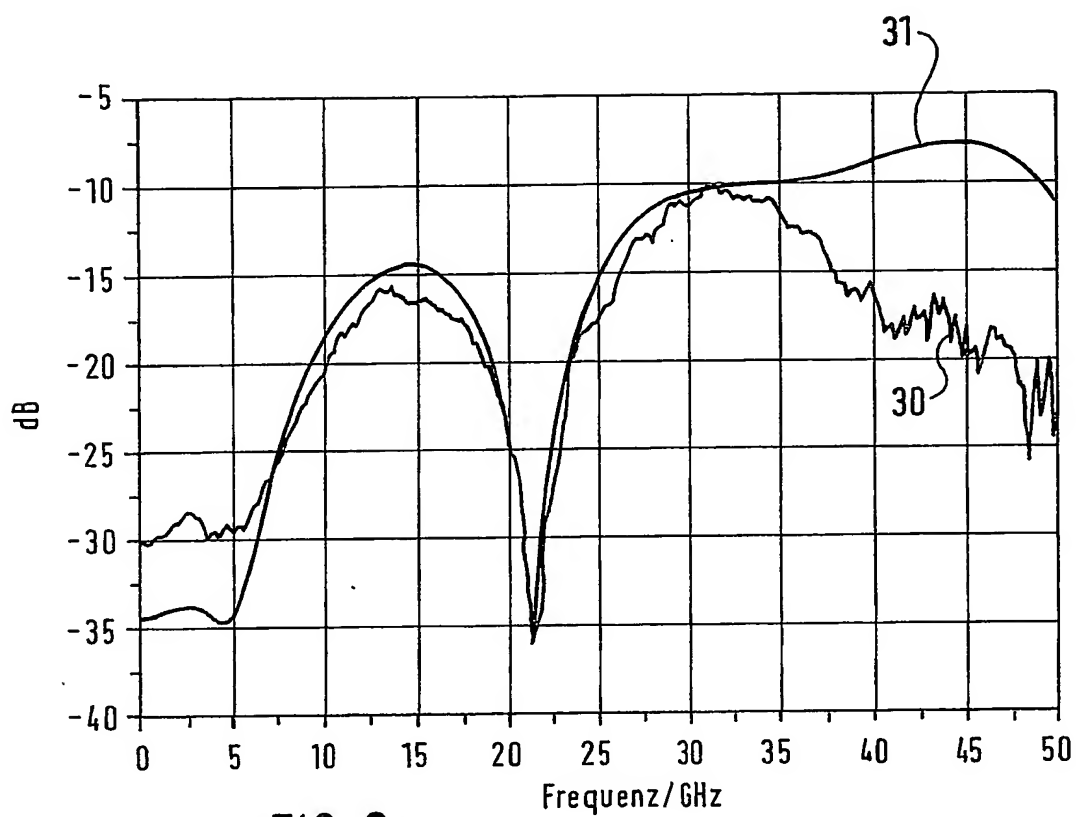


FIG. 6

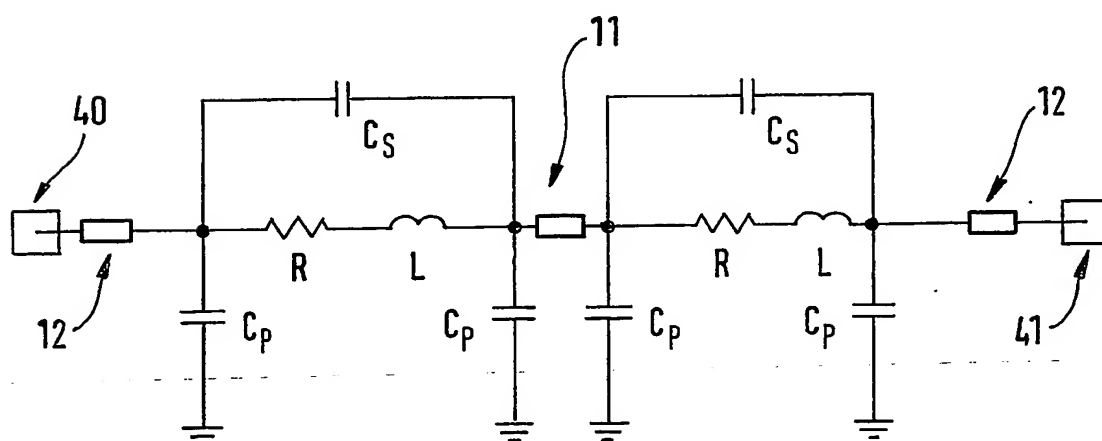


FIG. 7



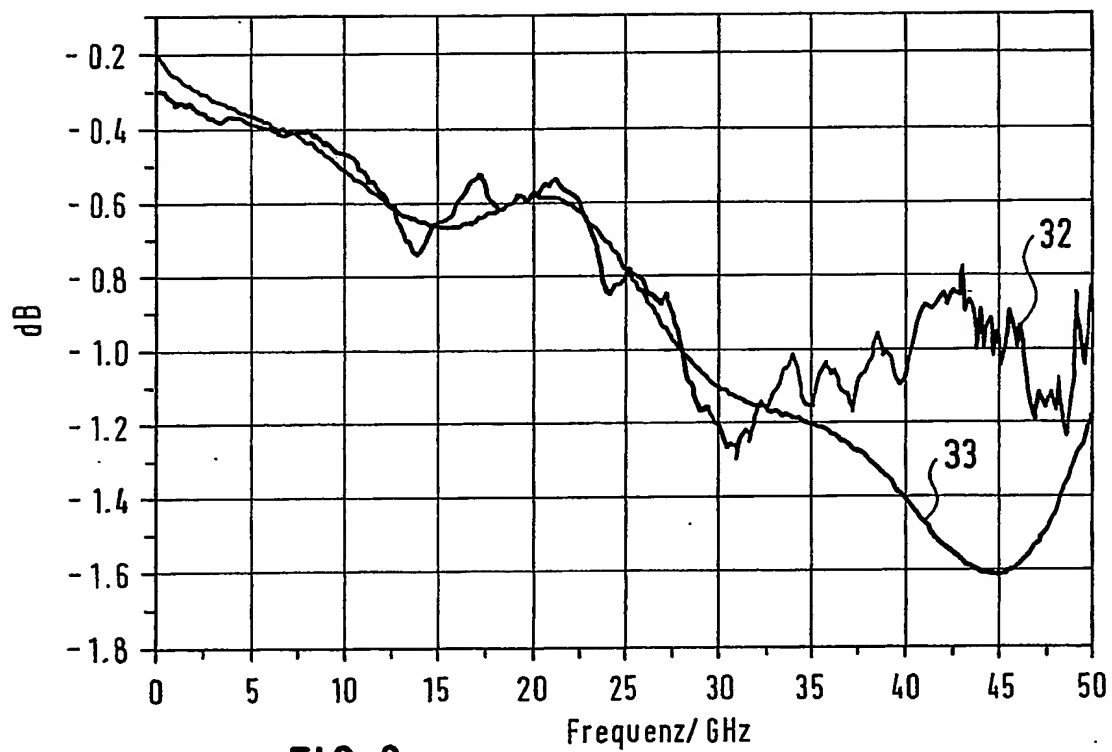


FIG. 8

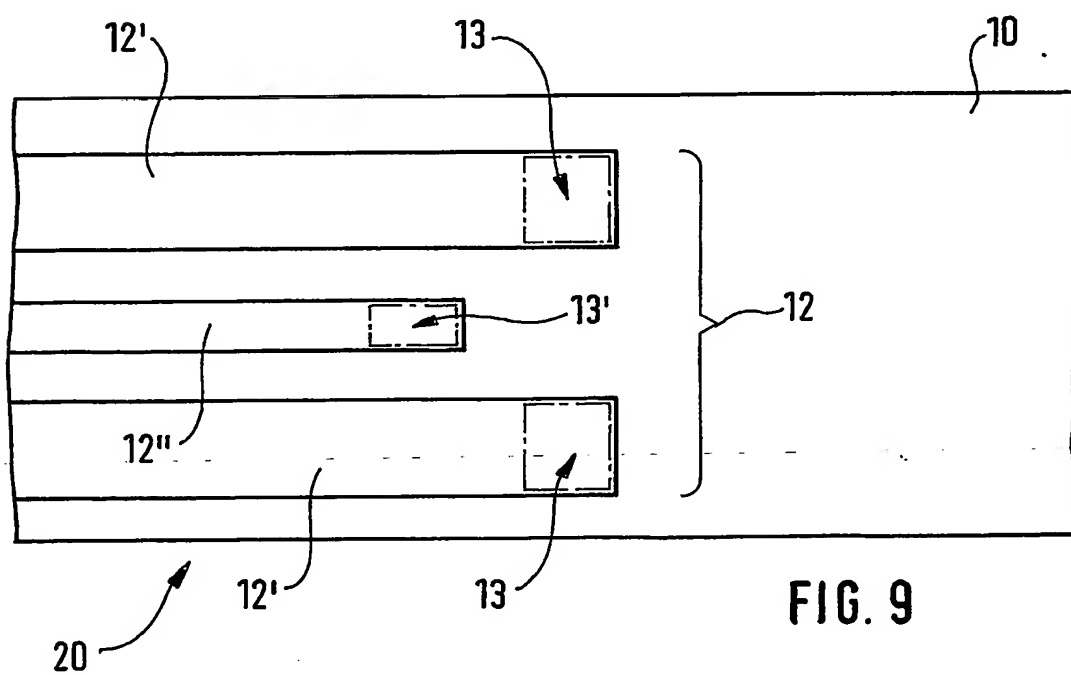


FIG. 9

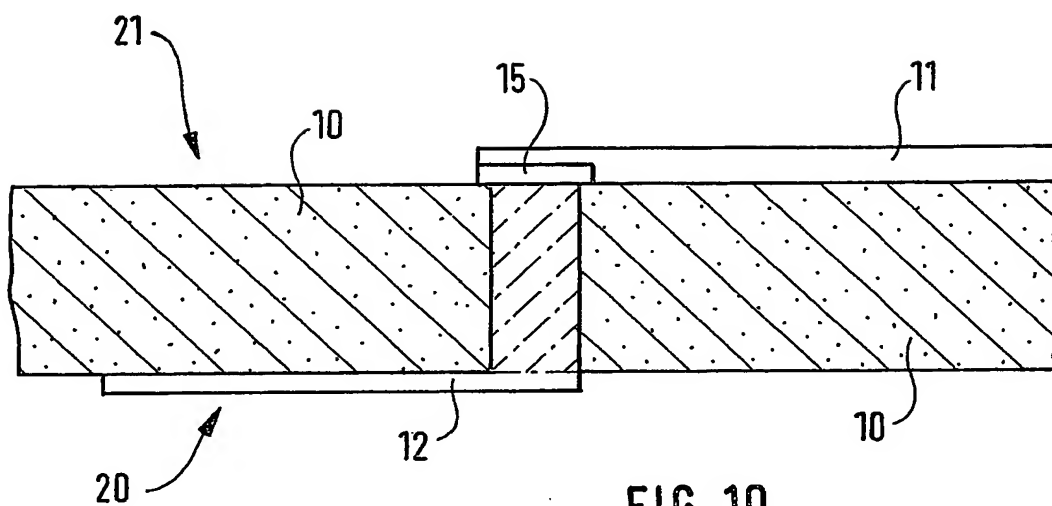


FIG. 10

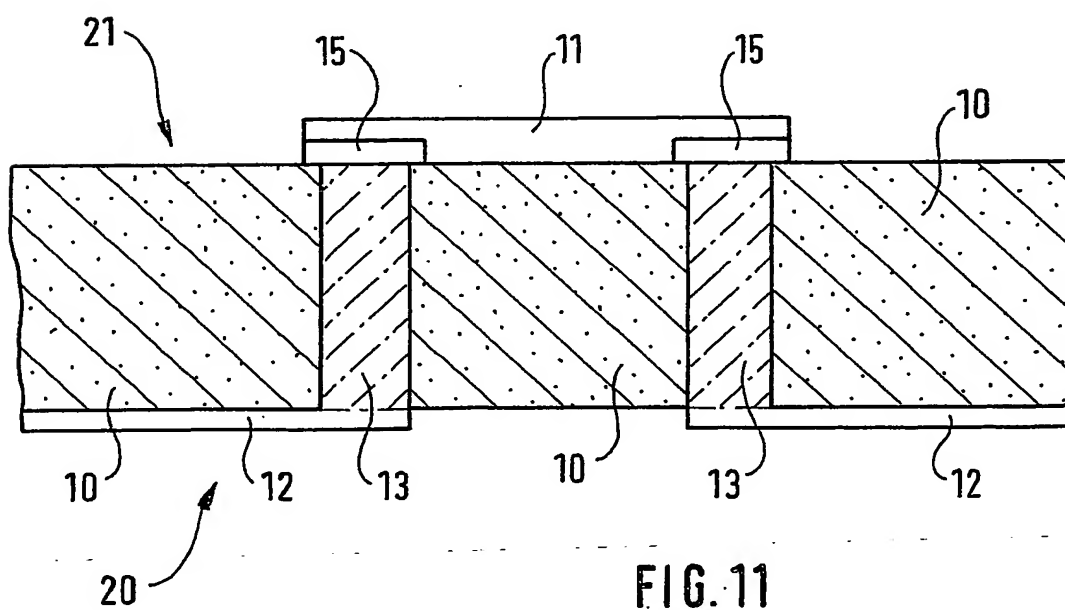


FIG. 11

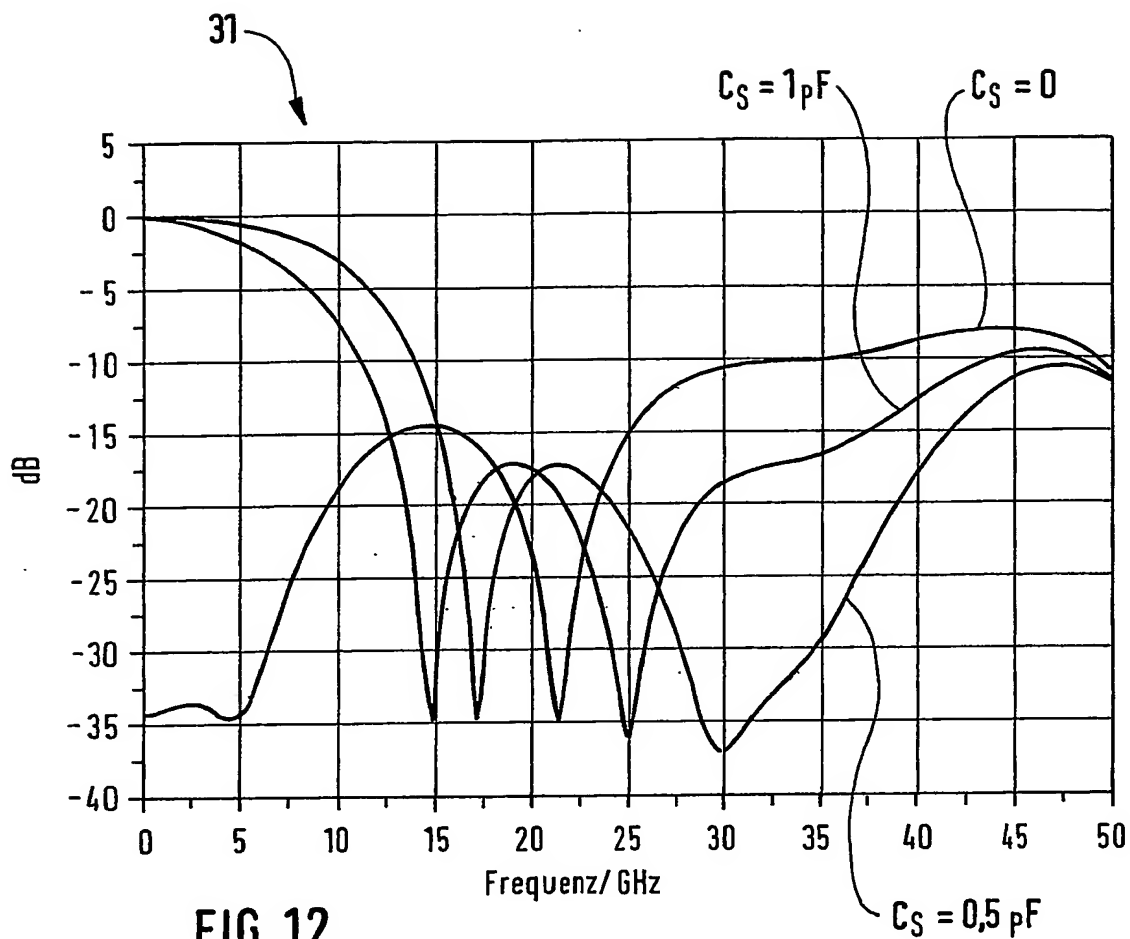


FIG. 12

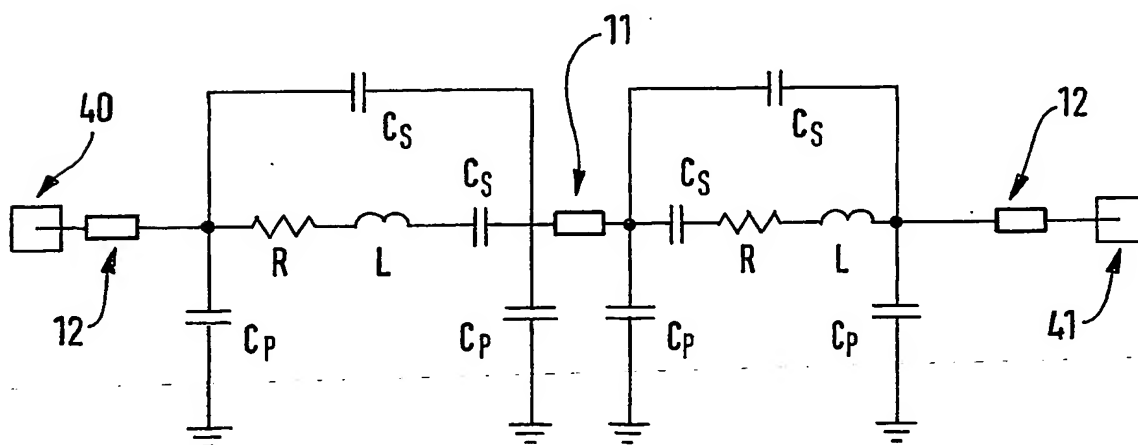


FIG. 13

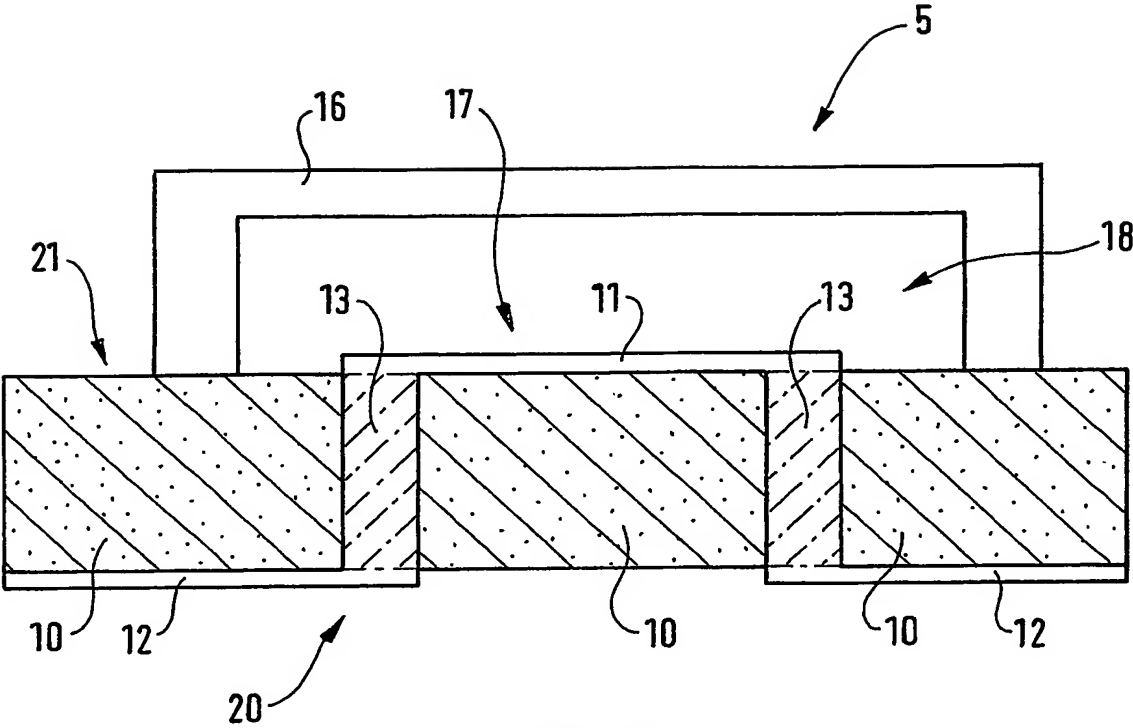


FIG. 14

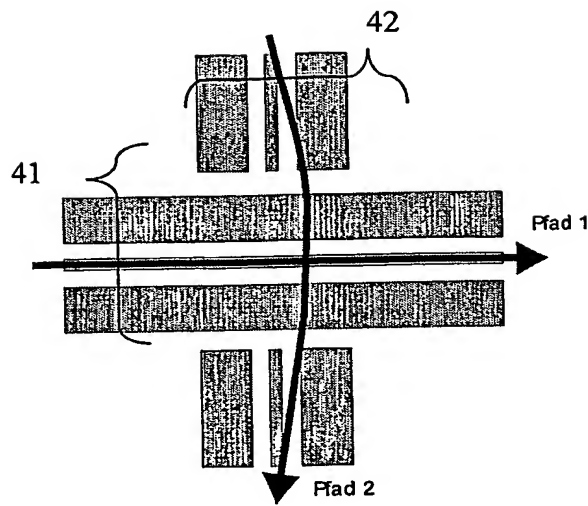


FIG. 15

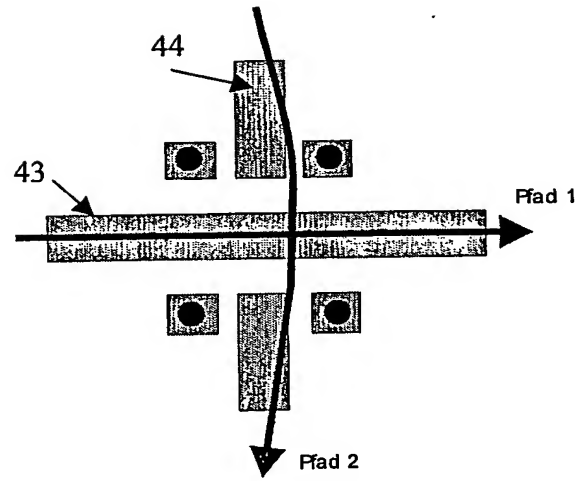


FIG. 16

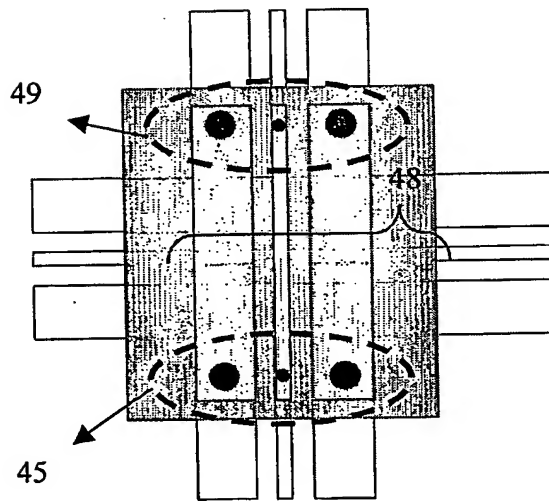


FIG. 17

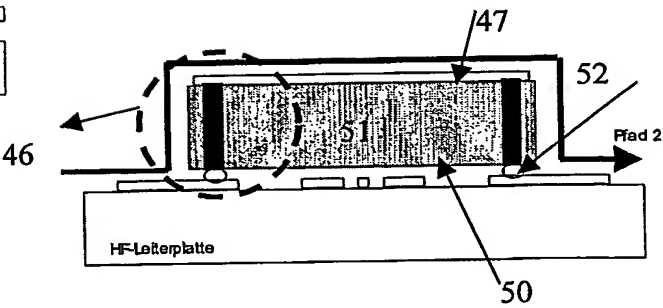


FIG. 18

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PC 03/02087

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
 IPC 7 H01P1/04 H01P11/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 IPC 7 H01P H05K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

PAJ, EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 99 62135 A (CIRCUIT COMPONENTS INC) 2 December 1999 (1999-12-02) page 7, line 6 -page 10, line 4; figures 3,5	1-3,5,11
Y	---	4,6,21
Y	ABHARI R ET AL: "Analysis of microvia interconnects" MICROWAVE SYMPOSIUM DIGEST, 1998 IEEE MTT-S INTERNATIONAL BALTIMORE, MD, USA 7-12 JUNE 1998, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 7 June 1998 (1998-06-07), pages 1925-1928, XP010290176 ISBN: 0-7803-4471-5 page 1926, left-hand column, line 2-6; figure 1 --- -/--	4,6

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

3 October 2003

Date of mailing of the international search report

20/10/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Den Otter, A

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat Application No  
PC 03/02087

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	GOVERDHANAM K ET AL: "NOVEL THREE-DIMENSIONAL VERTICAL INTERCONNECT TECHNOLOGY FOR MICROWAVE AND RF APPLICATIONS" 1999 IEEE MTT-S INTERNATIONAL MICROWAVE SYMPOSIUM DIGEST. (IMS). ANAHEIM, CA, JUNE 13 - 19, 1999, IEEE MTT-S INTERNATIONAL MICROWAVE SYMPOSIUM, NEW YORK, NY: IEEE, US, vol. 2, 13 June 1999 (1999-06-13), pages 641-644, XP000876331 ISBN: 0-7803-5136-3 figures 1-3	21
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2002, no. 10, 10 October 2002 (2002-10-10) -& JP 2002 185201 A (KYOCERA CORP), 28 June 2002 (2002-06-28) abstract	1
A	TURNER G W ET AL: "SELECTIVE PLASMA ETCHING OF SI FROM GAAS-ON-SI WAFERS FOR MICROWAVE VIA-HOLE FORMATION" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 26, no. 13, 21 June 1990 (1990-06-21), pages 854-855, XP000107967 ISSN: 0013-5194 page 855, left-hand column, line 1-10; figures 1,2	4

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/03/02087

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9962135	A	02-12-1999	US 6215377 B1 10-04-2001
			CA 2333403 A1 02-12-1999
			CN 1328709 T 26-12-2001
			EP 1082777 A1 14-03-2001
			JP 2002517099 T 11-06-2002
			WO 9962135 A1 02-12-1999
JP 2002185201	A	28-06-2002	NONE



A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 IPK 7 H01P1/04 H01P11/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 IPK 7 H01P H05K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

PAJ, EP0-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 99 62135 A (CIRCUIT COMPONENTS INC) 2. Dezember 1999 (1999-12-02) Seite 7, Zeile 6 -Seite 10, Zeile 4; Abbildungen 3,5	1-3,5,11
Y	---	4,6,21
Y	ABHARI R ET AL: "Analysis of microvia interconnects" MICROWAVE SYMPOSIUM DIGEST, 1998 IEEE MTT-S INTERNATIONAL BALTIMORE, MD, USA 7-12 JUNE 1998, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 7. Juni 1998 (1998-06-07), Seiten 1925-1928, XP010290176 ISBN: 0-7803-4471-5 Seite 1926, linke Spalte, Zeile 2-6; Abbildung 1 ---	4,6
	--- -/--	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

3. Oktober 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

20/10/2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Den Otter, A

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie <sup>a</sup>	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	GOVERDHANAM K ET AL: "NOVEL THREE-DIMENSIONAL VERTICAL INTERCONNECT TECHNOLOGY FOR MICROWAVE AND RF APPLICATIONS" 1999 IEEE MTT-S INTERNATIONAL MICROWAVE SYMPOSIUM DIGEST. (IMS). ANAHEIM, CA, JUNE 13 - 19, 1999, IEEE MTT-S INTERNATIONAL MICROWAVE SYMPOSIUM, NEW YORK, NY: IEEE, US, Bd. 2, 13. Juni 1999 (1999-06-13), Seiten 641-644, XP000876331 ISBN: 0-7803-5136-3 Abbildungen 1-3	21
X	----- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2002, no. 10, 10. Oktober 2002 (2002-10-10) -& JP 2002 185201 A (KYOCERA CORP), 28. Juni 2002 (2002-06-28) Zusammenfassung	1
A	----- TURNER G W ET AL: "SELECTIVE PLASMA ETCHING OF SI FROM GAAS-ON-SI WAFERS FOR MICROWAVE VIA-HOLE FORMATION" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, Bd. 26, Nr. 13, 21. Juni 1990 (1990-06-21), Seiten 854-855, XP000107967 ISSN: 0013-5194 Seite 855, linke Spalte, Zeile 1-10; Abbildungen 1,2	4

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die der selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PC 03/02087

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 9962135	A	02-12-1999	US	6215377 B1	10-04-2001
			CA	2333403 A1	02-12-1999
			CN	1328709 T	26-12-2001
			EP	1082777 A1	14-03-2001
			JP	2002517099 T	11-06-2002
			WO	9962135 A1	02-12-1999
<hr/>					
JP 2002185201	A	28-06-2002	KEINE		
<hr/>					

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☒ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**